



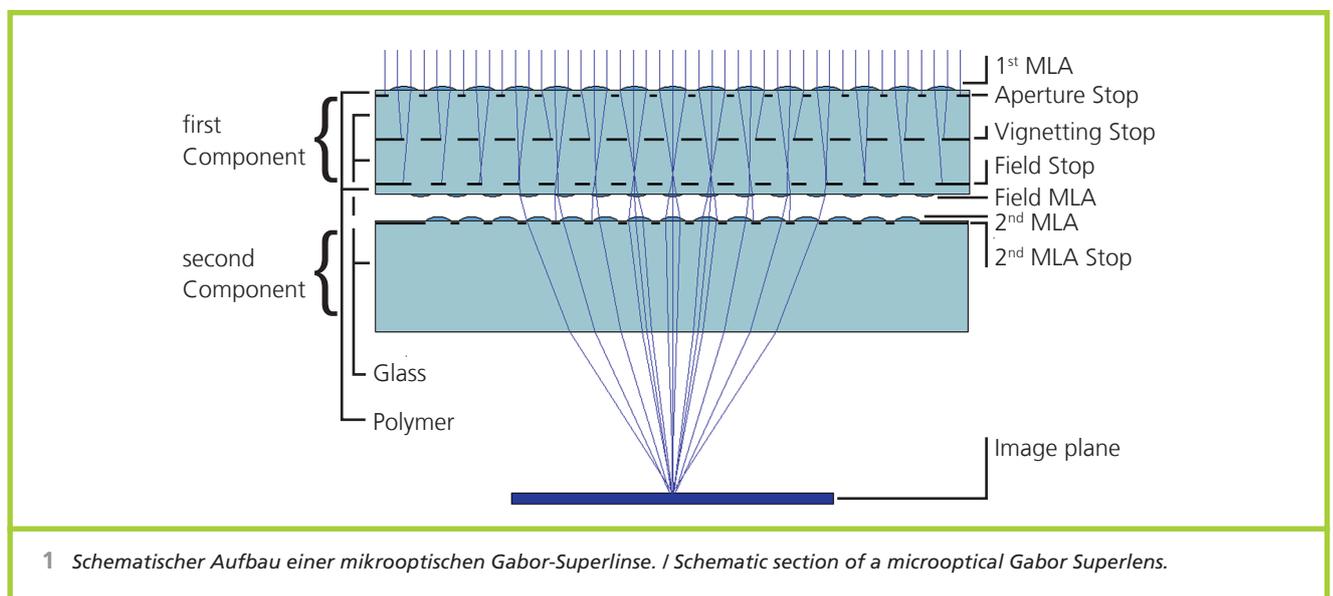
3

ULTRAKOMPAKTES ABBILDUNGSSYSTEM ERHÖHTER LICHTSTÄRKE

ULTRA-COMPACT IMAGING SYSTEM WITH INCREASED SENSITIVITY

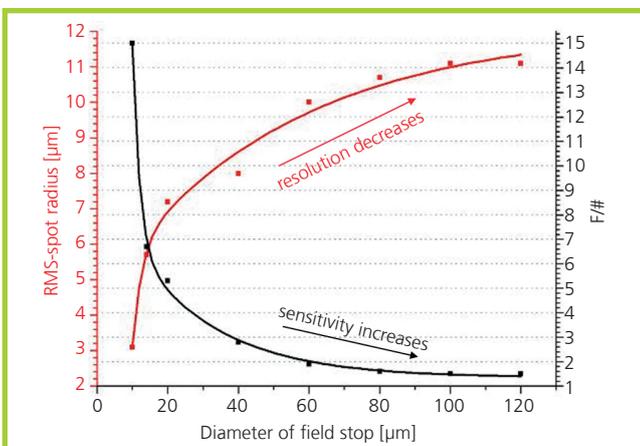
Miniaturisierte Kameras sind heute ein integraler Bestandteil einer Vielzahl von Produkten aus dem Bereich der Kommunikations- und Unterhaltungselektronik sowie der Sensorik. Allerdings sind der Verringerung der Baugröße der verwendeten Kameraoptik neben den technologischen auch physikalische Grenzen gesetzt. Bei der Verkleinerung der Optik-Baulänge (bei konstanter Lichtstärke und Bildauflösungsvermögen) verringern sich das Winkelauflösungsvermögen und die Anzahl der durch das Abbildungssystem übertragbaren Informationen /1/.

Miniaturized cameras are now an integral part of a number of devices in communication and consumer products as well as sensors. However, besides technological constraints, physical limits also apply to the reduction of camera optics size. While shrinking the total track length of optics (keeping a constant light sensitivity and image resolution), the angular resolution and the amount of information which may be transferred by the system decreases /1/.



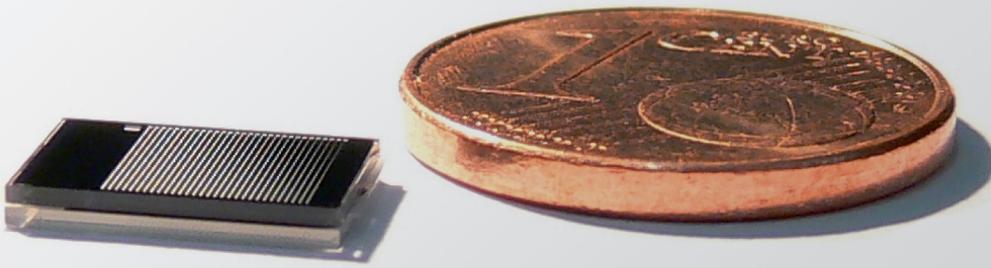
Einen vielversprechenden Weg die letztgenannte Limitation zu überwinden, bieten Vorbilder aus der Natur wie beispielsweise Insekten. Bei diesen Tieren haben sich im Laufe der Evolution Facettenaugen herausgebildet, die den Lebensumständen der jeweiligen Art perfekt angepasst sind. So findet man bei vor allem tagaktiven Insekten die so genannten Appositionsaugen und bei nachtaktiven Insekten die Superpositionsaugen vor /2/. Die technische Adaption des erstgenannten Typs führte bereits zur Entwicklung eines ultradünnen Abbildungssensors /3/, welcher neben der ultraflachen Bauweise (300 μm) ein großes Gesichtsfeld (92°) sowie eine unbegrenzte Schärfentiefe aufweist. Allerdings besitzt dieses Abbildungssystem trotz seines relativ großen Sensorflächenkonsums nur eine moderate Lichtstärke (F-Zahl = 4).

Natural archetypes like insects offer a promising way to overcome the last-mentioned limitation. During their evolution, these animals have formed compound eyes which perfectly match their habitats. Thus diurnal insects exhibit a so-called apposition compound eye, whereas nocturnal insects bear a superposition eye /2/. The technical counterpart of the first type lead to the development of an ultra-compact imaging sensor /3/, which is ultra-thin (300 μm) and has a large field of view (92°) as well as an unlimited depth of field. However, it exhibits only moderate sensitivity (F-number = 4) although it consumes a relatively large sensor area.



2 RMS-Punktbildradius und Blendenzahl (F/#) als Funktion des Durchmessers der Feldblende. / RMS-spot radius and F-number (F/#) as a function of the diameter of the field stop.

3 Bild der »Image Processing Lena«, aufgenommen mit der Gabor-Superlinse. / Image of "Image Processing Lena" captured by the Gabor Superlens.



4

Inspiziert durch das Superpositions-Facettenauge, wurde eine Gabor-Superlinse entwickelt, die aus zwei Mikrolinsenarrays unterschiedlicher Pitches besteht, die axial einen Abstand aufweisen, der der Summe ihrer Brennweiten entspricht. Die Anordnung verdankt ihren Namen dem Erfinder und Physik-Nobelpreisträger Dennis Gabor, der sie 1940 zum Patent anmeldete. Die unserer Kenntnis nach einzige Demonstration einer solchen Optik im Jahr 1999 fiel mit 6,5 cm Baulänge bei einem Gesichtsfeld von 10° nicht besonders kompakt aus /4/. Um das Gesichtsfeld zu vergrößern, haben wir ein drittes Mikrolinsenarray (Feldlinsenarray) in die mikrooptische Gabor-Superlinse integriert (Abb. 1). Durch die für jeden Bildpunkt auftretende Überlagerung von Licht aus benachbarten Kanälen erhöht sich die Lichtstärke dieser Mikrooptik (F-Zahl = 2,8). Simulationen haben gezeigt, dass bei einer Gabor-Superlinse die Erhöhung der Lichtstärke direkt proportional zur Anzahl der überlagernden Kanäle ist, während sich die Größe des entstehenden Punktbildes indirekt proportional dazu verhält (Abb. 2). Es entsteht ein reelles und zusammenhängendes Bild (Abb. 3) in der Bildebene, so dass ein kleiner, konventioneller Bildwandler verwendet werden kann. Das Gesamtsystem besitzt eine Baugröße von $2,8 \times 2,8 \times 2 \text{ mm}^3$ (Abb. 4) und kann im Gegensatz zu konventionellen Einkanaloptiken im Wafermaßstab hergestellt werden /5/. Der Prototyp bildet ein Gesichtsfeld von 40° in nahezu QVGA-Auflösung (340×340 Pixel) ab und könnte somit z. B. als Sekundärkamera für Videotelefonie zum Einsatz kommen.

Die Autoren bedanken sich für die Förderung durch das BMBF im Projekt »Insekten-inspirierte Abbildungssysteme« (FKZ: 01RB0705A).

Inspired by the superposition compound eye, a Gabor superlens has been developed consisting of two microlens arrays of different pitch with an axial distance according to the sum of their focal lengths. This setup owes its name to its inventor and Physics Nobel Prize winner Dennis Gabor, who patented it in 1940. To our knowledge, the only demonstration of such optics in 1999 was not particularly compact, with a total track length of 6.5 cm and a field of view of 10° /4/. In order to increase the field of view, we integrated a third microlens array (field lens array) into the microoptical Gabor superlens (Fig. 1). The light sensitivity of the microobjective is increased (F-number = 2.8) due to the superposition of light from neighboring channels for each image point. Simulations have shown that the increase in sensitivity of a Gabor superlens is directly proportional to the number of superimposing channels, whereas the size of the point-spread-function is indirectly proportional to that (Fig. 2). A real and seamless image (Fig. 3) is created in the image plane so that a small, conventional image sensor may be used. The whole system has a size of $2.8 \times 2.8 \times 2 \text{ mm}^3$ (Fig. 4) and contrasting to conventional single-aperture optics it may be fabricated on wafer level /5/. The prototype captures a field of view of 40° with approx. QVGA resolution (340×340 pixels) and thus might be applied e.g. as secondary camera for video telephony.

The authors acknowledge the financial support within the BMBF-funded project "Insect-inspired imaging systems" (FKZ: 01RB0705A).

4 Prototyp der mikrooptischen Gabor-Superlinse im Vergleich zu einem Cent-Stück.

4 Prototype of a microoptical Gabor superlens in comparison to a cent coin.

Literatur/References

/1/ Brückner, A.; Duparré, J.; Wippermann, F.; Dannberg, P.; Bräuer, A.: Microoptical Artificial Compound Eyes, Flying Insects and Robots, Floreano, D.; Zufferey, J.-C.; Srinivasan, M.V.; Ellington, C. (Eds.), Springer (2009), ISBN: 978-3-540-89392-9.

/2/ Land, M. F.; Nilsson, D.-E.: Animal Eyes, Oxford Animal Biology Series (Oxford University Press, Oxford, 2002).

/3/ Brückner, A.; Duparré, J.; Dannberg, P.; Bräuer, A.; Hoffmann, C.: Ultra-compact vision system for automotive applications, Proceedings 4th EOS Topical Meeting on Advanced Imaging Techniques, Jena, Germany (2009), p. 166-167.

/4/ Hembd-Sölner, C.; Stevens, R.F.; Hutley, M.C.: Imaging properties of the Gabor Superlens, J. Opt. A, Pure Appl. Opt. 1(1), 94–102 (1999).

/5/ Stollberg, K.; Brückner, A.; Duparré, J.; Dannberg, P.; Bräuer, A., Tünnermann, A.: The Gabor superlens as an alternative waferlevel camera approach inspired by superposition compound eyes of nocturnal insects, Opt. Express 17 (18), p. 15747-15759 (2009).

AUTHORS

Andreas Brückner

Klemens Stollberg

Jacques Duparré

Peter Dannberg

Sylke Kleinle

Antje Oelschläger

Andreas Bräuer

CONTACT

Dipl.-Phys. Andreas Brückner

Phone +49 3641 807-421

andreas.brueckner@iof.fraunhofer.de

Dr. Andreas Bräuer

Phone +49 3641 807-404

andreas.braeuer@iof.fraunhofer.de